昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, February 2006, 49(1): 74 - 79 ISSN 0454-6296

从华蟹甲草中分离的两种活性成分对家蝇的杀虫活性

周利娟，黄继光，徐汉虹*，吴仁海

（华南农业大学，农药与化学生物学教育部重点实验室，华南植物性农药研究中心，广州 510642）

摘要：**研究了从我国特有植物华蟹甲草** *Sinacalia tangutica* （Maxim.） B. Nord **中经生物活性跟踪实验得出的杀虫活性成分** *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-**十八碳三烯酸和** *Z*，*Z*-9，12-**十八碳二烯酸对家蝇** *Musca domestica vicina* **的生物活性及对其生理生化指标的影响。结果表明，家蝇经该** 2 **种化合物** 1 mg/mL **处理后表现出类似神经毒剂中毒的兴奋症状。这** 2 **种化合物对家蝇表现出毒杀作用，**24 h **时，***Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-**十八碳三烯酸和** *Z*，*Z*-9，12-**十八碳二烯酸对家蝇的** LC_{50} **值分别为** 0.26 mg/mL **和** 0.43 mg/mL；**对家蝇触杀作用极低，以** 1 mg/mL **分别点滴处理家蝇后** 48 h，**死亡率分别为** 21.54% **和** 4.08%。**这** 2 **种化合物对家蝇的** AChE **影响不明显，但可引起家蝇的过氧化物酶的活性发生紊乱，对家蝇总糖含量也有一定的影响。***Z*，*Z*-9，12-**十八碳二烯酸可引起家蝇的** Mg-ATPase **的比活力降低，而** *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-**十八碳三烯酸引起家蝇的** Na-K-Mg-ATPase **和** Ca-ATPase **的比活力较对照上升。**

关键词：**家蝇；华蟹甲草；活性成分；杀虫活性；生理生化指标**

中图分类号：Q965.9；S482.39　　文献标识码：A　　文章编号：0454-6296（2006）01-0074-06

Insecticidal activities of two active components from a Chinese indigenous plant, *Sinacalia tangutica* (Maxim.) B. Nord against *Musca domestica vicina* Macquart adults

ZHOU Li-Juan, HUANG Ji-Guang, XU Han-Hong*, WU Ren-Hai (Key Laboratory of Pesticide and Chemical Biology of the Ministry of Education, South China Botanical Pesticides Research Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Insecticidal activities of two active components, *Z*, *Z*, *Z*-9, 12, 15-octadecatrienoic and *Z*, *Z*-9, 12-octadecadienoic, isolated from Chinese indigenous plant, *Sinacalia tangutica* (Maxim.) B. Nord, against adults of *Musca domestica vicina* Macquart and their effects on physiological and biochemical factors of the house fly were studied by bioassay tracking. The results showed that *M. domestica vicina* exhibited typical exciting symptoms similar to that with neurotoxins after being treated with *Z*, *Z*, *Z*-9, 12, 15-octadecatrienoic and *Z*, *Z*-9, 12-octadecadienoic at the concentration of 1 mg/mL. These two chemicals possessed poison effect on adult house flies, with LC_{50} values 24 h after the treatment being 0.26 mg/mL and 0.43 mg/mL, respectively. But they showed weak contact poison against adult house flies, with the corrected mortalities 48 h after the treatment at the concentration of 1 mg/mL being 21.54% and 4.08%, respectively. These two chemicals had no obvious effect on AChE activity, but exhibited obvious effect on POD activity and the content of total glycogen, of adult house flies. *Z*, *Z*, *Z*-9, 12, 15-octadecatrienoic caused increases of Na-K-Mg-ATPase and Ca-ATPase activities while *Z*, *Z*-9, 12-octadecadienoic caused a decrease of Mg-ATPase activity.

Key words: *Musca domestica vicina*; *Sinacalia tangutica*; active components; insecticidal activity; physiological and biochemical factors

脂肪酸类化合物具有杀虫（Abdallah *et al*., 1988；Kio, 1990；Sayed *et al*., 1999）、**抗菌抑菌**（Ohta *et al*., 1993；Nazif, 2002）、**杀线虫**（Lee *et al*., 2002；Jenkinsand Courtney, 2003）、**抗病毒**（Kinchington *et al*., 1993）**以及抑制藻类生长**（Muhammad *et al*., 1992）**活性。目前，人们对脂肪**

基金项目：华南农业大学博士启动基金（4200-K05045）**农药与化学生物学教育部重点实验室（华南农业大学）开放基金项目**（2005-2006）

作者简介：周利娟，女，1976 **年生，博士，讲师，研究方向为天然源农药，**E-mail：lijuanzhou@126.com

* **通讯作者** Author for correspondence, E-mail：hhxu@scau.edu.cn

收稿日期 Received：2005-04-14；**接受日期** Accepted：2005-08-08

酸类物质在 IPM 中的应用并不重视。经生物活性跟踪实验发现，我国特有植物华蟹甲草 *Sinacalia tangutica*（Maxim.）B. Nord 的杀虫活性成分为 *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸。我们研究了这 2 种化合物对家蝇 *Musca domestica vicina* Macquart 的毒杀和触杀活性以及对家蝇几种酶、蛋白质和总糖的影响。该结果对于深入研究脂肪酸类物质的杀虫活性和作用机理有重要意义，同时引起人们对脂肪酸类物质在 IPM 中重要性的重视。

1　材料与方法

1.1　供试药物

供试 *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸为本实验室直接从我国特有植物华蟹甲草中分离的纯品。

固蓝盐 B、坚牢蓝 RR、α-乙酸萘酯、β-乙酸萘酯、α-萘酚和 β-萘酚等均为分析纯。牛血清蛋白为 Sigma 公司原装进口。

1.2　供试昆虫

家蝇成虫：虫种引自广东省卫生防疫站。产卵饲料和幼虫饲料成分为：麦麸 250 g、面粉 12.5 g、奶粉 8 g、酵母粉 2.5 g 及水 500 mL；成虫饲料成分为：面粉 50 g、麦麸 10 g 和奶粉 40 g。面粉、麦麸、奶粉以及酵母粉均为市售。取羽化后 2～4 天的成虫供试。养虫室内的相对湿度为 70% ± 5%，温度为 25 ± 1℃。

1.3　方法

1.3.1　触杀作用测定：采用点滴法，样品用丙酮溶解。挑选羽化后 2～4 天整齐一致的家蝇，用微量点滴仪（中国科学院上海昆虫所制造）点滴 2 μL 浓度为 1 mg/mL 的样品液于试虫胸背部。每处理设 3 个重复，每重复 10 头成虫，丙酮作空白对照。处理后的试虫用白砂糖饲喂，观察试虫的反应，并记录死亡虫数，计算死亡率和校正死亡率。

1.3.2　毒杀作用测定：准确称取 1 g 白砂糖于直径 2.5 cm、高 7.5 cm 的试管中。将样品用丙酮溶解，并进行梯度稀释得浓度分别为 1、0.5、0.25、0.125、0.0625 mg/mL 的样品液，分别取 1 mL 样品液于盛白砂糖的试管中，摇匀，使样品能均匀地附着在白砂糖上，用风扇吹干备用。挑选羽化后 2～4 天整齐一致的家蝇，用乙醚麻醉后，迅速向每管中接入 10 头家蝇。每处理设 5 个重复，每重复 10 头成虫，丙酮作空白对照。观察试虫的反应，并记录死亡虫数，计算死亡率和校正死亡率，并以此计算其 LC_{50} 值。

1.3.3　中毒症状观察：在生物测定过程中，详细观察并记载受试家蝇的中毒反应和症状表现。

1.3.4　乙酰胆碱酯酶（AChE）活力测定：将样品用丙酮溶解，得浓度为 0.5 mg/mL 的样品液，按 1.3.2 节方法处理家蝇成虫，分别取不同时间存活的成虫供试（下同）。将匀浆器置于冰浴上，并加入 0.1 mol/L 磷酸缓冲液（pH 7.2）预冷，随后将试虫洗净，以吸水纸吸去水渍，再用剪刀剪取头部，置于匀浆器中，大约每毫升缓冲液加试虫 5～7 头，冰浴匀浆，4 000× g 离心 15 min，取上清液置于冰浴上备用。酶活力测定参照 Ellman（1961）的方法进行。每处理设 5 个重复，下同。

1.3.5　腺苷三磷酸酶（ATPase）活性测定：参照 Yamaguchi 等（1979），何运转等（1999，2001），钟国华（2002）方法进行。

1.3.6　过氧化氢酶（CAT）活性测定：参考 Beers 和 Sizer（1952），李周直等（1994）方法。5 mL 反应混合液中含有 50 mmol/L 磷酸缓冲液（pH 7.0）、8.0 mmol/L H_2O_2 和 50 μL 酶液，在 30℃水浴中准确反应 60 s，加入 2 mL 10% H_2SO_4 溶液终止反应。用 2.0 mmol/L $KMnO_4$ 滴定剩余的 H_2O_2，根据 H_2O_2 的耗量计算 CAT 活性。

1.3.7　过氧化物酶（POD）活性测定：参考 Simon 等（1974）方法。0.2 mol/L 的磷酸缓冲液（pH 6.0）3.5 mL，0.15 mol/L 的愈创木酚溶液 1.0 mL，0.1 mol/L 的 H_2O_2 溶液 50 μL，酶液 0.1 mL，混合均匀后于 25℃水浴中反应 2 min，然后立即在 470 nm 下比色。每 30 s 测一次吸收值，共测 5 min 左右。以每分钟光密度的变化值表示酶活性的大小。

1.3.8　蛋白质含量测定：采用‘双缩脲’法测定蛋白质含量（慕立义，1991）。

1.3.9　总糖含量的测定：参照冯慧（1989）方法。采用蒽酮法测定试虫体内糖原含量。

1.4　统计分析

除特别说明外，生物活性测定结果和各项生理生化指标均以‘平均值 ± 标准误’表示，毒力回归方程和标准曲线方程均以最小二乘法求取，方差分析采用邓肯氏新复极差检验法（Duncan's multiple range test，DMRT）。

2　结果与分析

2.1　试虫中毒症状

以 1 mg/mL *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和

Z,*Z*-9,12-十八碳二烯酸分别处理家蝇后约 20 min,即可以观察到以下类似典型的神经毒剂引起中毒的兴奋现象:试虫异常活跃,不停地快速爬来爬去,同时还似乎喜欢与其他试虫挤来挤去,试虫的两后足支撑在白砂糖面上,前四足不停地在管壁上上下划动,并伴有行动失常、翻倒在白砂糖面上的现象,舔食白砂糖明显较对照少。

2.2 对家蝇的毒力

从表 1 中可以看出,处理后 16 h 和 24 h,*Z*,*Z*,*Z*-9,12,15-十八碳三烯酸对家蝇的 LC_{50} 值分别为 515.94 μg/mL 和 259.87 μg/mL,*Z*,*Z*-9,12-十八碳二烯酸的 LC_{50} 值分别为 776.34 μg/mL 和 434.82 μg/mL。

表 1 Z,Z,Z-9,12,15-十八碳三烯酸和 Z,Z-9,12-十八碳二烯酸对家蝇的毒力

Table 1 Toxicity of *Z*, *Z*, *Z* -6,9,12-octadecatrienoic and *Z*, *Z*-6,9-octadecadienoic against adult house flies

化合物 Compounds	时间(h) Time	回归方程 Regress equation	LC_{50} (μg/mL)	95%置信限 95% Confidence limit
Z,*Z*,*Z*-9,12,15-十八碳三烯酸 *Z*,*Z*,*Z*-9,12,15- octadecatrienoic	16	$y = 2.5180 + 0.9150x$	515.94	324.18 ~ 821.13
	24	$y = 1.6432 + 1.3901x$	259.87	196.91 ~ 342.97
Z,*Z*-9,12-十八碳二烯酸 *Z*,*Z*-9,12-octadecadienoic	16	$y = 2.6579 + 0.8104x$	776.34	407.83 ~ 1 144.75
	24	$y = 2.1416 + 1.0834x$	434.82	300.15 ~ 629.90

2.3 对家蝇的触杀活性

以 1 mg/mL *Z*,*Z*,*Z*-9,12,15-十八碳三烯酸和 *Z*,*Z*-9,12-十八碳二烯酸分别点滴处理家蝇后 48 h,死亡率分别为 21.54%和 4.08%(表 2),可见,这 2 种化合物对家蝇触杀作用极低。

表 2 Z,Z,Z-9,12,15-十八碳三烯酸和 Z,Z-9,12-十八碳二烯酸对家蝇的触杀活性

Table 2 Contact poison of *Z*, *Z*, *Z* -9,12,15-octadecatrienoic and *Z*, *Z*-9, 12-octadecadienoic against adult house flies

化合物 Compounds	校正死亡率 Corrected mortalities (%) ($\bar{x} \pm SE$)			
	6 h	18 h	24 h	48 h
Z,*Z*,*Z*-9,12,15-十八碳三烯酸 *Z*,*Z*,*Z* -9,12,15-octadecatrienoic	1.13 ± 1.54	8.69 ± 1.83	14.99 ± 4.53	21.54 ± 2.63
Z,*Z*-9,12-十八碳二烯酸 *Z*,*Z*-9,12-octadecadienoic	0.00 ± 0.00	2.24 ± 2.33	4.08 ± 1.60	4.08 ± 1.60

注 Note:处理浓度为 1 mg/mL。Treated at the concentration of 1 mg/mL.

2.4 对家蝇乙酰胆碱酯酶的影响

从表 3 可以看出,以 0.5 mg/mL *Z*,*Z*,*Z*-9,12,15-十八碳三烯酸和 *Z*,*Z*-9,12-十八碳二烯酸处理后 12 h 时家蝇乙酰胆碱酯酶酶活力平均值和对照的酶活力平均值在 5%显著水平上均差异不显著。

表 3 Z,Z,Z-9,12,15-十八碳三烯酸和 Z,Z-9,12-十八碳二烯酸对家蝇乙酰胆碱酯酶的影响(12 h)

Table 3 Effect of *Z*, *Z*, *Z* -9,12,15-octadecatrienoic and *Z*, *Z*-9,12-octadecadienoic on AChE activity of adult house flies (12h)

处理 Treatment	乙酰胆碱酯酶活性 AChE activity (μmol·mg^{-1}·min^{-1}) ($\bar{x} \pm SE$)
对照 CK	9.79 ± 1.16 ab
Z,*Z*,*Z*-9,12,15-十八碳三烯酸 *Z*,*Z*,*Z*-9,12,15-octadecatrienoic	12.08 ± 0.17 a
Z,*Z*-9,12-十八碳二烯酸 *Z*,*Z*-9,12-octadecadienoic	8.48 ± 1.55 b

注 Note:处理浓度为 0.5 mg/mL;表中同列数据后字母相同者表示在 5%水平上差异不显著(DMRT 法)。Treated at the concentration of 0.5 mg/mL. Data within a column followed by the same letters are not significantly different (DMRT, $P > 0.05$).

2.5 对家蝇 ATPase 的影响

从图 1 可以看出,在处理后 24 h,*Z*,*Z*,*Z*-9,12,15-十八碳三烯酸引起家蝇的 Na-K-Mg-ATPase 和 Ca-ATPase 的比活力较对照上升,对 Mg-ATPase 的比活

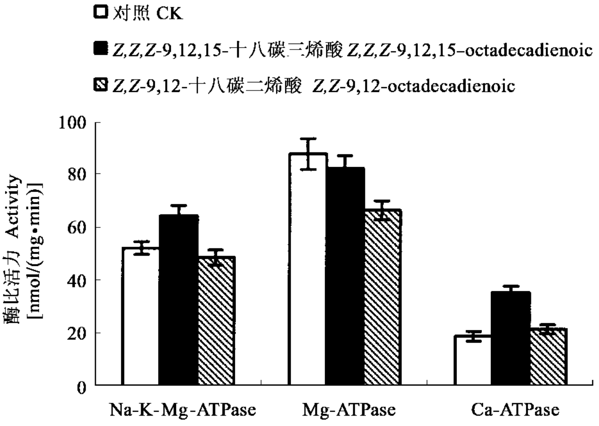

图 1 *Z*,*Z*,*Z*-9,12,15-十八碳三烯酸和 *Z*,*Z*-9,12-十八碳二烯酸对家蝇 ATPase 的影响 (24 h)

Fig. 1 Effect of *Z*,*Z*,*Z*-9,12,15-octadecatrienoic and *Z*,*Z*-9,12-octadecadienoic on ATPase activity of adult house flies (24 h)

力影响不明显；而 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸引起家蝇的 Mg-ATPase 的比活力较对照低，对 Na-K-Mg-ATPase 和 Ca-ATPase 的比活力影响不明显。

2.6 对家蝇过氧化氢酶（CAT）和过氧化物酶（POD）的影响

从图 2（A）可以看出，处理后 8 h 和 24 h，*Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸处理组家蝇的 CAT 活性与对照组相比差异不明显。从图 2（B）可以看出，处理后 8 h，*Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸处理组家蝇的 POD 活性比对照组的降低，而 *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸处理组家蝇的 POD 酶活性比对照组的升高。处理后 24 h，*Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸处理组家蝇的 POD 酶活性均比对照组的高。

2.7 对家蝇蛋白质和总糖含量的影响

家蝇经 *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸处理后 2～24 h 内，对照组和处理组的蛋白质含量均下降；24～36 h 内，对照组和处理组蛋白含量基本无变化；36～48 h 内蛋白含量回升。12 h 时，*Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸处理家蝇的蛋白质含量比对照的高；而 24～48 h 时，*Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸处理家蝇的蛋白含量比对照的高（图 3：A）。从图 3（B）可以看出 *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸对家蝇总糖含量均有影响，在处理后 2～36 h 内，引起总糖含量降低；到 36～48 h 时 *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸处理家蝇的总糖含量略有回升，但 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸处理家蝇的总糖含量仍较对照的低。

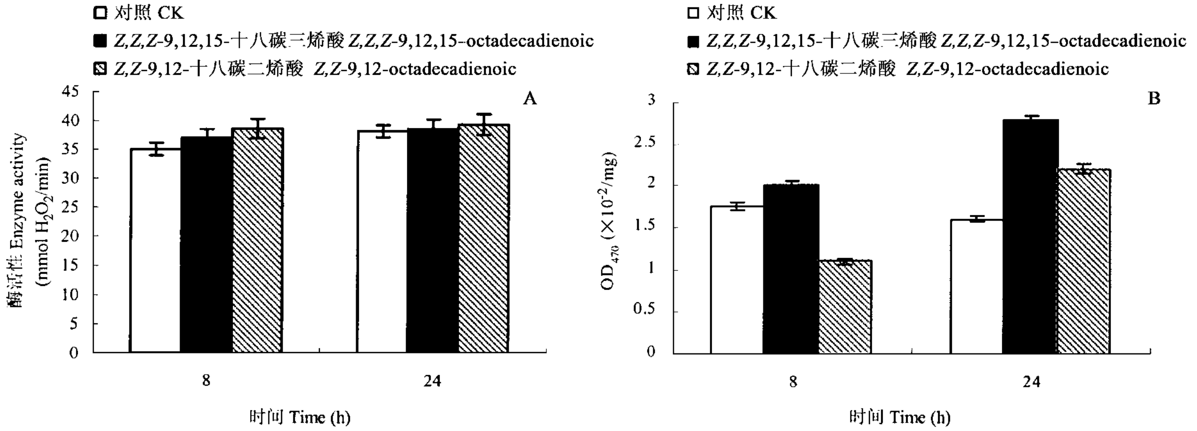

图 2　*Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸对家蝇过氧化氢酶（A）和过氧化物酶（B）酶活性的影响

Fig. 2　Effect of *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-octadecatrienoic and *Z*，*Z*-9，12-octadecadienoic on CAT（A）and POD（B）activity of adult house flies

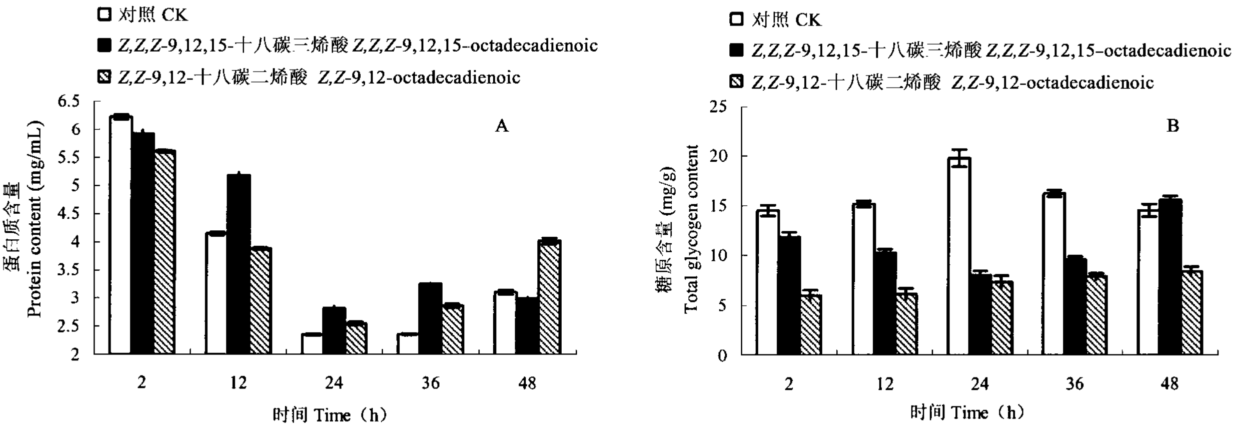

图 3　*Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸对家蝇蛋白质（A）和总糖（B）含量的影响

Fig. 3　Effect of *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-octadecatrienoic and *Z*，*Z*-9，12-octadecadienoic on protein（A）and total glycogen（B）content of adult house flies

3 讨论

3.1 具有生物活性的脂肪酸类化合物的机理问题

脂肪酸类物质对细菌、病毒、昆虫等多种生物都有活性，关于其机理方面的研究，有一些文献报道。研究证明，γ 亚麻酸（GLA）对多种革兰氏阴性菌、阳性菌及藻类的生长具有抑制作用，研究认为 GLA 进入细胞壁之后，结合或插入细胞膜，改变膜的流动性及其他生理性质，从而使细胞生长受到抑制。另外，Kinchington 等（1993）研究发现 GLA 对人体免疫缺损病毒（HIV）具有抑制活性，将 HIV 感染的细胞在添加 Li-GLA（GLA-锂）的培养基中培育 4 天后发现，约有 90%的 HIV 感染细胞被杀死，而对照组未感染 HIV 的细胞只损失了 20%；GLA 与维生素 E（抗氧化剂）同时存在时，Li-GLA 的杀毒作用明显减低，因而认为 GLA 对 HIV 的选择性杀伤作用可能与膜脂质的过氧化状态有关。另外还有研究报道，GLA 可以通过增加 E-粘连蛋白和 α-Catenin（一种在 E-粘着蛋白和细胞骨架之间的连接蛋白）的含量而抑制细胞的移动从而达到抗肿瘤作用；同时，GLA 也可以通过抑制 Ezrin（一种膜-细胞骨架连接蛋白）的酪氨酸磷酸化及向皱缩区的移动来抑制膜皱缩，从而达到抑制肿瘤细胞的转移和侵袭（张亚刚等，2002）。

关于脂肪酸类物质对害虫的作用机理，一直被认为是阻塞昆虫的气门（Kio，1989），影响其正常呼吸而起增效作用。本实验通过观察家蝇的中毒症状发现，1 mg/mL 的 *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸处理家蝇后仅 20 min 就出现了典型的兴奋状态，这与作用于神经系统药剂的症状相似；但研究表明 *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸对家蝇的 AChE 没有明显影响，该类化合物是否作用于神经系统的其他靶标，还有待进一步研究。

另外，这 2 种脂肪酸类物质对家蝇的其他一些酶系有影响，如使过氧化物酶的活性发生变化，并且实验结果表明，处理后 24 h，*Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸引起家蝇的 Na-K-Mg-ATPase 和 Ca-ATPase 的比活力较对照上升，*Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸引起家蝇的 Mg-ATPase 的比活力较对照低。此外，这 2 种化合物对家蝇总糖含量也有一定的影响。关于上述现象的具体作用机理，都是值得进一步研究的问题。

3.2 脂肪酸类化合物作为农药活性物质应用的可能性

油脂类化合物在 20 世纪早期就已经广泛地应用在害虫控制上（Hill and Schoonhoven，1981），随后进一步研究发现起活性作用的是脂肪酸类化合物。Kio（1989，1990）研究发现月桂酸、油酸和亚油酸对豇豆四纹豆象 *Callosobruchus maculates*（F.）具有生物活性，其中油酸对该虫的 LC_{50} 为 1.64 mL/kg。Kanthi 和 Pant（1988）报道棕榈酸对瓜寡鬃实蝇 *Dacus cucurbitae*（Coquillett）幼虫具有杀虫活性。Sayed 等（1999）从斑鸠菊属植物 *Vernonia biopontani* 中分离出 6 种脂肪酸，并发现它们对海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis* 和小地老虎 *Agrotis ipsilon* 具有杀虫活性。Abdalla（1988）研究发现，从土荆芥 *Chenopodium ambrosioides*、白酒草 *Conyza dioscoridis* 和田旋花 *Convolvulus arvensis* 中分离出来的长链脂肪酸或脂肪酸盐如十六烷酸盐、十七烷、十二烷酸盐和十八烷酸对杂拟谷盗 *Tribolium castaneum*（Herbst）和米象 *Sitophilus granarius* 具有杀虫活性。Abdallah 等（1988）也报道白酒草属植物 *C. dioscoridis* 对赤拟谷盗和谷象具有杀虫活性，并从中分离出长链脂肪酸酯十六烷酸盐、十七烷、十二烷酸盐和十八烷酸。本研究发现 *Z*，*Z*，*Z*-9，12，15-十八碳三烯酸和 *Z*，*Z*-9，12-十八碳二烯酸都对家蝇表现出良好的毒杀作用，其 24 h 对家蝇的 LC_{50} 值分别为 0.26 mg/mL 和 0.43 mg/mL。

除杀虫活性外，脂肪酸类还表现出杀菌抑菌活性。Ohta 等（1993）发现 GLA 对金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus* 野生菌株及抗梅丝西林突变菌株（MRSA）具有细胞毒性作用，当 GLA 的浓度为 0.5 mg/mL 时，15 min 可全部杀死上述 2 种供试菌株。研究证实 GLA 可以抑制铜绿假单胞杆菌 *Pseudomonasae ruginosa*、大肠杆菌 *Escherichia coli* 和枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*（Nazif，2002）。亚麻酸和月桂酸能抑制肉毒梭状芽孢杆菌 *Clostridium botulinum* 62A、产芽孢梭状芽孢杆菌 *Clostridium sporogenes* PA3679 和蜡状芽孢杆菌 *Bacillus cereus* F4165/7 的孢子产生，最小抑制浓度为 50～150 mg/mL（Ababouch *et al*.，1992；Kaylegian，1995）。此外，Lee 等（2002）也报道亚麻酸对蜡状芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌有抑制作用，其最小抑制浓度分别为 0.002 mg/mL 和 0.05 mg/mL，亚油酸还能抑制一种乳芽孢杆菌 *Lactobacillus reuteri* ATCC 55739（Jenkins and Courtney，2003）。

此外，亚油酸和其他一些脂肪酸还具有杀线虫作用。Stadler 等（1993）研究发现亚油酸对线虫 *Caenorhabditis elegans* 的 LD_{50} 值为 5 mg/mL。许多藻类生物在 GLA 存在下生长也受到抑制，GLA 被 Δ^{15} 脱氢酶还原所得的产物，6，9，12，15-十八碳四烯酸

（ODTA）对藻类表现出更高的抗菌活性（约为 GLA 的 10 倍）（Muhammad *et al*.，1992）。

由以上可以看出，将具有一定的杀虫、抗菌抑菌、杀线虫、抗病毒、杀螨虫、抑制藻类生长和除草活性的脂肪酸类物质作为一种活性物质应用是可行的。而且，油脂类物质与一些杀虫剂混用以提高药效，所以脂肪酸类化合物在控制有害生物方面应该得到重视。

参考文献（References）

Ababouch L，Chaibi A，Busta FF，1992. Inhibition of bacterial spore growth by fatty acids and their sodium salts. *Journal of Food Production*，55（12）：980 – 984.

Abdalla EF，1988. Antifeedant activity of sesquiterpene lactones and their effect on consumption and utilization of food by *Spodoptera littoralis*（Boisd.）larvae. *Bulletin of the Entomological Society of Egypt*（*Economic Series*），（15）：245 – 252.

Abdallah MD，Kandil MA，Farag AA，1988. Isolation and identification of biologically active compounds from extracts of Minteena，Barnoof and Ullaiq. *Bulletin of the Entomological Society of Egypt*（*Economic Series*），（15）：191 – 197.

Beers RFJr，Sizer JW，1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Journal of Biology Chemistry*，195：133 – 140.

Ellman GL，1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol.*，7：88 – 95.

Feng H，1989. Analytical Methods of Insect Biochemistry. Beijing：Agriculture Press.［冯慧，1989. 昆虫生物化学分析方法. 北京：农业出版社］

He YZ，Li M，Feng GL，Wang YC，1999. Inhibition of pyrethroid insecticides on nerve Na-K-ATPase in house flies（*Musca domestica*）. *Acta Entomologica Sinica*，42（1）：19 – 24.［何运转，李梅，冯国蕾，王荫长，1999. 拟除虫菊酯对家蝇 Na-K-ATPase 抑制作用的研究. 昆虫学报，42（1）：19 – 24］

He YZ，Li M，He FQ，Feng GL，Wang YC，2001. Inhibition of pyrethroid insecticides on nerve Ca-ATPase，Ca-Mg-ATPase in house flies（*Musca domestica*）. *Acta Entomologica Sinica*，44（3）：297 – 303.［何运转，李梅，何凤琴，冯国蕾，王荫长，2001. 拟除虫菊酯对家蝇 Ca-ATPase 和 Ca-Mg-ATPase 的抑制作用. 昆虫学报，44（3）：297 – 303］

Hill J，Schoonhoven AV，1981. Effectiveness of vegetable oil fractions in controlling the Mexican bean weevil on stored beans. *Journal of Economic Entomology*，74（3）：478 – 479.

Jenkins JK，Courtney PD，2003. *Lactobacillus* growth and membrane composition in the presence of linoleic or conjugated linoleic acid. *Canadian Journal of Microbiology*，49（1）：51 – 57.

Kanthi S，Pant JC，1988. Effect of different combinations of cholesterol with caproic acid，iso-caproic acid，palmitic acid and linoleic acid on the growth and development of *Dacus cucurbitae*（Coquillett）maggots under aseptic conditions. *Indian Journal of Entomology*，50（1）：106 – 112.

Kaylegian KE，1995. Functional characteristics and nontraditional applications of milk lipid components in food and nonfood systems. *Journal of Dairy Science*，78（11）：2 524 – 2 540.

Kinchington D，Randall S，Winter M，Horrobin D，1993. Lithium gamma-linolenate-induced cytotoxicity against cells chronically infected with HIV. *FEBS Letter*，330（2）：219 – 221.

Kio NDP，1990. Insecticidal activity of fatty acid constituents of fixed vegetable oils against *Callosobruchus maculates*（F.）on cowpea. *Pesticide Science*，30：295 – 302.

Kio NDP，1989. Mode of action of oils against eggs of *Callosobruchus maculates*（F.）. *Pesticide Science*，26：107 – 115.

Lee JY，Kim YS，Shin DH，2002. Antimicrobial synergistic effect of linolenic acid and monoglyceride against *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Agricultural Food Chemistry*，50（7）：2 193 – 2 199.

Li ZZ，Shen HJ，Jiang QG，Ji BZ，1994. A study on the activities of endogenous enzymes of protective system in some insects. *Acta Entomologica Sinica*，37（4）：399 – 403.［李周直，沈惠娟，蒋巧根，嵇保中，1994. 几种昆虫体内保护酶系统活力的研究. 昆虫学报，37（4）：399 – 403］

Mu LY，1991. Studying Methods of Plant Chemical Protection. Beijing：China Agricultural Press. 52 – 58.［慕立义，1991. 植物化学保护研究方法. 北京：中国农业出版社. 52 – 58］

Muhammad I，Feraly FS，Mossa JS，Ramadan AF，1992. Terpenoids from *Pulicaria glutinosa*. *Phytochemistry*，31（12）：4 245 – 4 248.

Nazif NM，2002. Phytoconstituents of *Zizyphus spinachristi* L. fruits and their antimicrobial activity. *Food Chemistry*，76（1）：77 – 81.

Ohta S，Chang T，Kawashima A，Aozasa O，Mase Y，Nagata T，Kitamura K，Kondon M，Miyata H，1993. Antibiotic activity of unsaturated fatty acids on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Bioscience，Biotechnology and Biochemistry*，57（12）：2 194 – 2 195.

Sayed NH，Mogahed MI，Haron AA，Mabry TJ，1999. Flavonoids and other constituents of *Vernonia biopontani* and insecticidal and fungicidal activities. *Revista Latinoamericana de Quimica*，27（1）：5 – 8.

Simon LM，Fatrai Z，Jonas DE，1974. Study on peroxide metabolism enzymes during the development of *Phaseolus vulgris*. *Biochemistry and Physiology*，166：387 – 392.

Stadler M，Anke H，Sterner O，1993. Linoleic acid，the nematicidal principle of several nematophagous fungi and its production in trap-forming submerged cultures. *Archives of Microbiology*（*Germany*），160（5）：397 – 400.

Yamaguchi I，Matsumura F，Kadous AA，1979. Inhibition of synaptic ATPase by heptachlorepoxide in rat brain. *Pesticide Biochemistry and Physiology*，11：285 – 293.

Zhang YG，Wen B，Wu MJAL，2002. Mechanism of physiological activities of conjugated linoleic acid. *Life Science Research*，6（1）：86 – 89.［张亚刚，文彬，吾满江·艾力，2002. 共轭亚油酸生理活性的作用机制. 生命科学研究，6（1）：86 – 89］

Zhong GH，2002. Studies on the Active Ingredients，Mode of Insecticidal Action and Their Structure-Activity Relationships of the Yellow Azalea，*Rhododendron molle* G. Don. Guangzhou：Dissertation for PhD，South China Agricultural University. 22 – 23.［钟国华，2002. 黄杜鹃花杀虫活性成分、作用机制及构效关系研究. 广州：华南农业大学博士学位论文. 22 – 23］

（责任编辑：黄玲巧）